

# 自転車エルゴメータートレーニングによる 機械的効率の改善

山 本 博 男

## The Improvement of Mechanical Efficiency as a Result of the Bicycle Ergometer Training

Hiroh YAMAMOTO

### Abstract

Six male and five female subjects participated in constant-load exercise on Monark bicycle ergometer six days a week for six and five consecutive weeks respectively. During these periods, the mechanical efficiency remained unchanged. On the other hand, there were an increase in exercise  $O_2$  uptake and a corresponding decrease in recovery  $O_2$  uptake; steady-state  $O_2$  uptake remained unchanged. Exercise  $O_2$  uptake/total  $O_2$  uptake ratio increased from 64.4% to 66.5% for male subjects after six weeks of training period and from 65.4% to 68.3% for female subjects after five weeks of training period. Therefore, it was suggested that  $O_2$  transport efficiency was improved as a result of training.

### は し が き

ヒトが身体運動を行なう際、生体のもつ化学的エネルギーを消費し、機械的エネルギーを生み出す過程に着目し、筋を一種のエンジンとみなし、ヒトはこの筋というエンジンによって、身体運動を行なう機械と考えられる。

以前の研究において、一定負荷作業中の酸素摂取量がトレーニングによって減少したと報告されている。(11, 12, 15, 39, 41, 53, 56, 57, 71, 78) このことは、機械的効率が改善されたことを示唆している。一般的に、機械的効率はなされた仕事と用いたエネルギーとの比率である。これまでに様々な作業に関する機械的効率

の研究が報告されている中で、機械的効率に対するトレーニング効果を取り扱っている研究は、トレーニングによる機械的効率の増加を報告している。(26, 61, 84, 104) 一方トレーニングによる骨格筋内に生じる生化学的適応の結果として生じる最大下作業中における酸素摂取量の増加も指摘されている。(7, 8, 20, 29)

従って、本研究の目的はヒトと自転車をつきの系としてとらえ、自転車エルゴメーター作業での機械的効率に対するトレーニング効果を測定し、作業時と回復期の酸素摂取量の観点から検討を加えることである。

## 研 究 小 史

これまで持久性トレーニングに関する研究は数多くなされてきている。これらの中には競技者と一般人の体力を比較して、その差異を明らかにし、トレーニング効果を探ろうとする横断的研究がある。(33, 85, 87)

また、トレーニング研究には被検者のトレーニング期間中、あるいはトレーニング前後の体力の変化を追跡比較する縦断的研究があり、そのトレーニング効果の判定の指標として、1) 最大酸素摂取量、2) パフォーマンス、3) 一定負荷に対する呼吸循環系反応が現在広く用いられている。即ち、

1) 最大酸素摂取量は有気的作業能の最も良い指標であるとみなされており、青少年、成人男女だけでなく、中高年齢者を対象にしたトレーニングによる最大酸素摂取量の増加及び維持が報告されている。(2, 13, 15, 16, 17, 30, 31, 35, 37, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 56, 66, 70, 73, 76, 77, 78, 80, 82, 83, 90, 91, 92, 94, 95, 108, 109)

一般に、トレーニング強度、時間、頻度やトレーニング前における被検者の体力水準と最大酸素摂取量との関係が明らかにされている。例えば、トレーニング前の体力の低い被検者ほどトレーニング効果が現われやすい。

又、酸素摂取量は呼吸系及び循環系機能から次の様に表わされる。

酸素摂取量 = 心拍出量 × 動静脈酸素較差

酸素摂取量 = 換気量 × 酸素摂取率

従って、これらいずれかの因子に改善があれば最大酸素摂取量は増加する。(15, 17, 22, 22, 31, 38, 40, 48, 53, 55, 56, 67, 69, 70, 71, 78)

2) トレーニングによるパフォーマンスの増大、すなわち一定強度の作業時間の延長、仕事量の増大、もしくは一定の仕事量を成しとげる所要時間の短縮を示す報告は数多くある。

作業能力の要素として身体資源 (physical

resources), 作業成果 (performance), 調整力 (skill), がありパフォーマンスが大きくなるためには、スキルと身体資源のいずれもが大きくなるか、あるいはどちらか一方が大きくなる必要がある。持久性に関して、身体資源は最大酸素摂取量により代表され、スキルは機械的効率により代表される。すなわち、パフォーマンスはトレーニングによる最大酸素摂取量の増加とともに増加することが一般に認められているが、更にトレーニングによって最大酸素摂取量が増加しなかったにもかかわらず、パフォーマンスが増加する報告も多い。(2, 12, 23, 38, 39, 47, 48, 58, 66, 74, 76, 91, 93, 96, 106, 107)

3) 一定負荷に対する呼吸循環系機能のトレーニングによる改善が一般に知られている。(1, 13, 21, 47, 53, 56, 71, 75, 81, 97, 103)

このように、トレーニング効果は様々な形で現われてくるが、最近ではトレーニングの強度、時間、頻度の3条件を取り上げてトレーニング処方の基準を考慮している。(2, 9, 12, 19, 29, 30, 35, 37, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 55, 56, 57, 66, 76, 77, 79, 89, 93, 102, 103, 105)

## 方 法

被検者は、金沢大学教育学部体育科学生男子 8 名、女子 7 名で、これを男子 6 名、女子 5 名をトレーニング群に、残りの男女各 2 名をコントロール群に分けた。トレーニング内容は、男子の場合、3 kp, 60 rpm, 6 分間の自転車エルゴメーター作業を週 6 回、6 週間行ない、女子の場合、2.5 kp, 50 rpm, 6 分間、週 6 回、5 週間行なった。又、トレーニングには、モナーク社製自転車エルゴメーターを用いた。その作業強度は、男女ともに約 75 %  $\dot{V}O_2\max$  であった。最大下作業テストは、トレーニングと同様な作業 (男子 6480 kpm, 女子 4500 kpm) を行なわせ、作業終了後 15 分間を回復期とし、呼気ガスをダグラスバックにて採気し、ショランダー微

量ガス分析器で分析し、酸素摂取量を求めた。最大下作業テストとして、T 1 をトレーニングの初日、T 2 を 12 日目、T 3 を 24 日目、T 4 を 36 日目、T 5 を 42 日目に行なった。なお、無負荷作業時と安静時の酸素摂取量を無負荷作業開始後 3～5 分と回復期終了後の 5 分間とした。本研究では、機械的効率を求めるため、Gaesser と Brooks ら (1975) の式を用いた。(25)

$$\text{Gross Efficiency (GE)} = \frac{\text{外的仕事量}}{\text{仕事に要したエネルギー消費量}}$$

Net Efficiency (NE)

$$= \frac{\text{外的仕事量}}{\text{仕事に要したエネルギー消費量} - \text{安静時のエネルギー消費量}}$$

Work Efficiency (WE)

$$= \frac{\text{外的仕事量}}{\text{仕事に要したエネルギー消費量} - \text{無負荷作業時のエネルギー消費量}}$$

## 結 果

### (1) 最大作業テスト

被検者の身体的特徴ならびにトレーニング前と後の最大酸素摂取量を表 1 に示す。

最大酸素摂取量 (平均) に関して、トレーニング群の男子で 3.26 l/min から 3.44 l/min (単位体重当り最大酸素摂取量 49.86 ml/kg・min から 51.94 ml/kg・min) に増加したが統計的に有意ではなかった。

コントロール群の男子で 2.98 l/min から 2.89 l/min (単位体重当り 43.83 ml/kg・min から 42.04 ml/kg・min) へとほぼ一定であった。

トレーニング群の女子で 2.36 l/min から 2.44 l/min (単位体重当り 46.35 ml/kg・min から 47.52

Table 1. Physical characteristics,  $\dot{V}O_2\text{max}$  and  $\dot{V}O_2\text{max}/\text{weight}$  of subjects before and after training.

		Ages yrs	Height cm	Weight kg		$\dot{V}O_2\text{max}$ liters/min		$\dot{V}O_2\text{max}$ ml/kg·min	
				pre	post	pre	post	pre	post
— MALE —									
Training group									
(N = 5)	Mean	20.8	173.2	65.5	66.3	3.26	3.44	49.86	51.94
	S.D.	0.7	3.9	3.1	3.2	0.36	0.31	6.14	4.43
Control group									
(N = 2)	Mean	23.0	172.0	67.0	69.0	2.98	2.89	43.85	42.04
	S.D.	1.0	9.0	6.4	6.0	0.28	0.13	0.05	1.77
— FEMALE —									
Training group									
(N = 5)	Mean	20.4	159.0	50.9	51.5	2.36	2.44	46.35	47.52
	S.D.	0.5	2.9	4.1	3.6	0.23	0.10	2.16	2.95
Control group									
(N = 2)	Mean	20.5	162.9	56.3	56.5	2.48	2.52	43.95	44.57
	S.D.	0.5	0.9	1.3	1.5	0.19	0.13	2.31	1.12

又、酸素 1 l のエネルギー当量を 5.05 kcal とし、1 kcal を 426.4 kpm の仕事に当量変換した。(64) 最大作業テストは自転車エルゴメータを用い、7 分から 10 分で exhaustion になるよう負荷漸増法により、トレーニング前とトレーニング後に行なった。なお、心拍数は胸部双極誘導により測定した。

52 ml/kg・min) へとわずかに増加した。

コントロール群の女子で 2.48 l/min から 2.52 l/min (単位体重当り 43.95 ml/kg・min から 44.57 ml/kg・min) へとほぼ一定であった。

### (2) 最大下作業テスト

トレーニング期間中の機械的効率の変化を男子については、図 1 に、女子については、図 2 に示す。

男子について Test 1 から Test 5 までの G.E. (平均) は、19.4 %, 19.1 %, 20.4 %, 19.4 %, 19.4 %

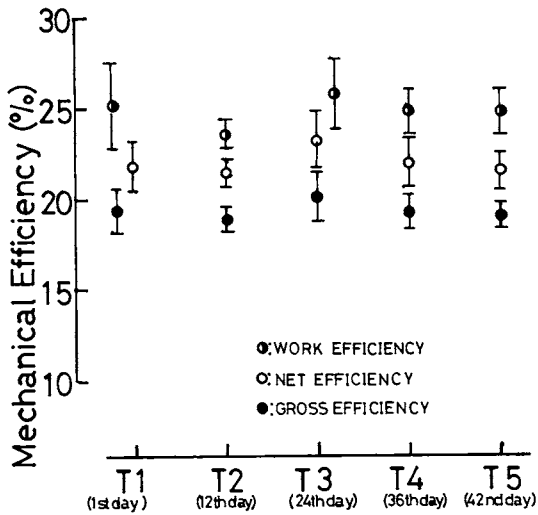


Figure 1. Changes in gross, net and work efficiency at submaximal work through 6 weeks of training period for male subjects

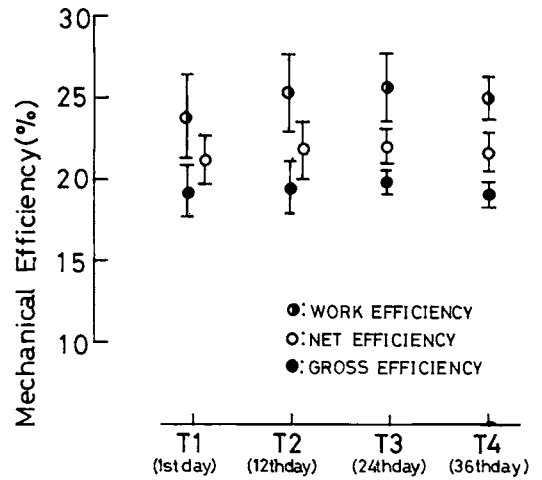


Figure 2. Changes in gross, net and work efficiency at submaximal work through 5 weeks of training period for female subjects

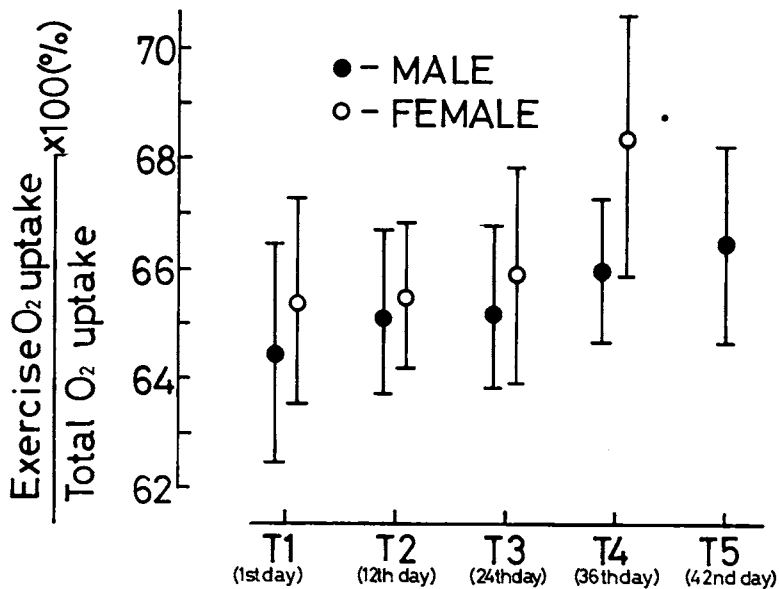


Figure 3. Changes in exercise  $O_2$  uptake/total  $O_2$  uptake ratio through training period for male and female subjects

19.2%であり、N.E. (平均) は、21.8%, 21.6%, 23.3%, 21.9%, 21.7%であり、W.E. (平均) は、25.1%, 23.8%, 25.7%, 24.5%, 24.3%であった。

女子について Test 1 から Test 4 までの G.E. (平均) は、19.3%, 19.5%, 19.7%, 18.9%であり、N.E. (平均) は、21.4%, 21.7%, 22.2%, 21.3%であり、W.E. (平均) は、23.9%, 25.5%, 24.7%であった。

このように男女とも機械的効率は、トレーニングによって変化しなかった。

さらに、被検者の全酸素摂取量に対する作業時の酸素摂取量の割合を図3に示した。

男子に関する Test 1, 2, 3, 4, 5 における作業時の酸素摂取量/全酸素摂取量は、それぞれ、64.4%, 65.2%, 65.3%, 66.0%, 66.5% (平均) であった。尚、Test 1 における64.4%と Test 5 における66.5%の間には、有意な差が認められた。(P<0.05)

女子に関する Test 1, 2, 3, 4 における作業時の酸素摂取量/全酸素摂取量は、それぞれ、65.4%, 65.5%, 65.9%, 68.3% (平均) であった。尚、Test 1 における65.4%と Test 4 における68.3%の間には、有意な差が認められた。(P<0.05)

一方、コントロール群においては、すべての測定項目で変化がなく、ほぼ一定であった。

## 考 察

これまでに最大有気的パワーに対するトレーニング効果に関する報告は数多くある。(3, 4, 17, 22, 23, 24, 30, 31, 38, 40, 45, 46, 46, 55, 58, 60, 75, 82, 84, 101, 108,)

本研究において男子の6週間トレーニング群及び女子の5週間トレーニング群に関して、最大酸素摂取量はそれぞれ6.3%, 4.2%の増加を示したが、統計的に有意ではなかった。トレーニング前の最大酸素摂取量は男子と女子に関して3.26 l/min (単位体重当り 49.86 ml/kg·min), 2.36 l/min (単位体重当り 46.35 ml/kg·min) であ

った。これを従来報告された結果と比較すると、非競技者よりも本研究の被検者のほうが高い値を示した。(33, 36, 59, 62, 63, 65, 87,) また本研究において、最大有気的パワーに対してトレーニング効果を示した初検者と示さなかった被検者を比較した場合、トレーニング前の最大酸素摂取量は男子被検者に関してそれぞれ2.77 l/min ~ 3.34 l/min (42.62 ml/kg·min ~ 49.70 ml/kg·min) の範囲、3.28 l/min ~ 3.83 l/min (48.23 l/kg·min ~ 61.18 ml/kg·min) の範囲であり、女子被検者に関してそれぞれ2.15 l/min ~ 2.35 l/min (43.39 ml/min ~ 49.68 l/kg·min) の範囲、2.31 l/min ~ 2.79 l/min (46.01 ml/kg·min ~ 47.61 ml/kg·min) の範囲であった。

従って、被検者に同一負荷でトレーニングを行なわせた場合には、トレーニング前の水準の低い被検者ほどトレーニング効果が現われやすいといえよう。

次に一定負荷作業中の機械的効率に対するトレーニング効果を検討してみよう。

Test 1 における Gross Efficiency (G. E.), Net Efficiency (N. E.), Work Efficiency (W. E.) は、男子 (平均) に関してそれぞれ19.6%, 21.9%, 25.0%で、女子 (平均) に関してそれぞれ19.3%, 21.4%, 23.9%であった。これらの機械的効率は Gaesser と Brooks 及び Christensen の報告している一致している。(13, 31)

一方、本研究において最大下作業での G.E., N. E., W.E. は男女ともトレーニングによる変化がなく、従来の報告と一致しない。(26, 84, 104,)

このように、本研究において機械的効率が増加しなかった理由として、被検者が十分トレーニングされている競技者であり、トレーニング前の機械的効率が他の研究の結果よりも高かったことが考えられる。

また機械的効率に関してトレーニングによる変化がなかったことは、酸素消費量が一定であったことを意味している。この点に基づいて作業時と回復期の酸素摂取量がトレーニングによってどのように変化するかを検討してみるこ

にする。

男子トレーニング群に関して最大下作業での定常状態の酸素摂取量はトレーニングによって変化なく、Test 1 と Test 4 とともに 2.53 l/min であった。これは 1,080 kpm/min の作業負荷における先の報告とほぼ一致している。(6, 17, 27, 46, 54, 88, 98,) 女子トレーニング群に関して定常状態の酸素摂取量は Test 1 において 1.71 l/min で、Test 4 において 1.82 l/min であり、わずかに増加したが有意差はなかった。これらは 750 kpm/min の作業負荷における先の報告とほぼ一致している。(33, 68, 100) Whipp と Wasserman は、激しい作業において少なくとも 6 分かそれ以上長い作業時間を経過しないと定常状態に達しないと述べている。(100) Åstrand と Saltin は最大下作業中の呼吸循環系の研究において作業時間が 5 分を越えるべきだと述べている。この観点に基づき、本研究における作業時間を 6 分間とした。(4)

男女とも定常状態の酸素摂取量はトレーニングによって変化しなかったが、作業開始後 4 分間の酸素摂取量は増加した。このことは酸素不足が小さくなっていることを意味し、以前の報告と一致している。(27, 29, 55, 56, 57,)

しかしながら、本研究において作業時の酸素摂取量がトレーニングによって増加したことは、トレーニングによる、作業時酸素摂取量の低下を報告している従来の研究とは一致しない。(14, 14, 39, 53, 58, 77, 82, 84, 93,)

本研究において、定常状態に達するまで酸素摂取量は増加し、このため酸素不足は小さくなった。作業開始時の酸素摂取量が増加した理由として、1) 骨格筋のミトコンドリアの数ならびに大きさの増大、もしくは赤筋線維量の増加。(7, 8, 20, 29,) 2) 呼吸組織にさらされている酸素量の増加に起因する作業筋に対する循環系の改善。(18, 34, 86,) が考えられている。従って、作業開始時の酸素摂取量がトレーニングによって増加したことは、呼吸循環系の適応すなわち作業に対する酸素運搬系の適応が高め

られ、その結果、無氣的過程への需要が減少し、乳酸の蓄積を少なくすることが考えられる。

また、酸素負債(5, 27, 28, 32, 39, 52, 56, 83, 99,)、換気量及び心拍数(1, 47, 48, 53, 56, 72)においても様々のトレーニング効果が観察された。今後、相対的負荷を用いることによって各被検者に同一条件でトレーニングを行なわせたり、活動的でない男子と女子を対象としたトレーニングを行なわせる研究が望まれる。

## お わ り に

この論文の要旨は、第 31 回日本体育学会で発表された。

## 参 考 文 献

- 1) Andrew, G.M., et al. Effect of athletic training on exercise cardiac output. *J. Appl. Physiol.* 21: 603-608, 1966.
- 2) Aoki, J., et al. Effect of training by exercise at 80 % and 65 % of  $\dot{V}O_2$  max on performance, maximum oxygen intake, blood lactate and heart rate in healthy adults. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1: 81-90, 1973 (In Japanese).
- 3) Asami, T. and K. Yamamoto. Effect of frequency of training on aerobic capacity and performance. *Rep. Res. Cent Phys. Ed.* 1: 35-40, 1973 (in Japanese).
- 4) Åstrand, P.-O., and K. Rodahl. *Textbook of work physiology.* Mc Graw-Hill Book Company. New York, N. Y., 1970.
- 5) Åstrand, P.O., and B. Saltin. Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. *J. Appl. Physiol.* 16: 971-976, 1961.
- 6) Banister, E. W. and R. C. Jackson. The effect of speed and load changes on oxygen intake for circulation power outputs during bicycle ergometer. *Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitphysiol.* 24: 284-290, 1967.
- 7) Barnard, R. J., et al. Effect of exercise on skeletal muscle. I. Biochemical and histochemical properties. *J. Appl. Physiol.* 28:

- 762-766, 1970.
- 8) Barnard, R. J., et al. Effect of exercise on skeletal muscle. II. Contractile properties. *J. Appl. Physiol.* 28: 767-770, 1970.
  - 9) Burke, E. J., and B. D. Franks. Changes in  $\dot{V}O_2$  max resulting from bicycle training at different intensities holding total mechanical work constant. *Res. Quart.* 46: 31-37, 1975.
  - 10) Christensen, E. H., et al. The influence of rest pauses on mechanical efficiency. *Acta Physiol. Scand.* 48: 443-447, 1960.
  - 11) Crescitelli, F., and C. Taylor. The lactate response to exercise and its relationship to physical fitness. *Amer. J. Physiol.* 14: 630-639, 1944.
  - 12) Cumminham, D. A., and J. A. Faulkner. The effect of training on aerobic and anaerobic metabolism during a short exhaustive run. *Med. Sci. Sports.* 1: 65-69, 1969.
  - 13) Douglas, F. G. V., and M. R. Becklake. Effect of seasonal training on maximal cardiac output. *J. Appl. Physiol.* 25: 660-665, 1960.
  - 14) Durnin, J. V. G. A., et al. Effects of a short period of training of varying severity on some measurements of physical fitness. *J. Appl. Physiol.* 15: 161-165, 1960.
  - 15) Ekblom, B., et al. Effect of training on circulatory response to exercise. *J. Appl. Physiol.* 24: 518-528, 1968.
  - 16) Ekblom, B. Effect of physical training in adolescent boys. *J. Appl. Physiol.* 27: 350-355, 1969.
  - 17) Ekblom, B. Effect of physical training on circulation during prolonged severe exercise. *Acta Physiol. Scand.* 78: 145-158, 1970.
  - 18) Elsner, R. W., and L. D. Carlson. Postexercise hypremia in trained and untrained subjects. *J. Appl. Physiol.* 17: 436-440, 1962.
  - 19) Faria, I. E. Cardiovascular response to exercise as influenced by training of various intensities. *Res. Quart.* 41: 44-50, 1970.
  - 20) Faulkner, J. A., et al. Adaptation of guinea pig plantaris muscle fibers to endurance training. *Amer. J. Physiol.* 221: 291-292, 1971.
  - 21) Flint, M. M., et al. Effects of training on woman's response to submaximal exercise. *Med. Sci. Sports.* 6: 89-94, 1974.
  - 22) Frick, M. H., et al. Effects of physical trainings on circulation at rest and during exercise. *Amer. J. Cardiol.* 12: 142-147, 1963.
  - 23) Fringen, M. N., and G. A. Stull. Changes in cardiorespiratory parameters during periods of training and detraining in young adult females. *Med. Sci. Sports.* 6: 20-25, 1974.
  - 24) Fukunaga, T., et al. Training effect on Aerobic Work Capacity of Middle and Old Aged Men. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 5: 96-103, 1977 (in Japanese).
  - 25) Gaesser, G. A., and G. A. Brooks. Muscular efficiency during steady-state exercise: effects of speed and work rate. *J. Appl. Physiol.* 38: 1132-1139, 1975.
  - 26) Gemmill, C., et al. Muscular training. I. The physiological effect of daily repetition of the same amount of light muscular work. *Amer. J. Physiol.* 92: 253-270, 1930.
  - 27) Girandola, B. N., and F. I. Katch. Effects of physical conditioning on changes in exercise and recovery  $O_2$  uptake and efficiency during constant load ergometer exercise. *Med. Sci. Sports.* 5: 242-247, 1973.
  - 28) Gisolfi, C., et al. Effects of aerobic work performed during recovery from exhausting work. *J. Appl. Physiol.* 21: 1767-1772, 1966.
  - 29) Gollnick, P. D., and D. W. King. Effect of exercise and training on mitochondria of rat skeletal muscular. *Amer. J. Physiol.* 216: 1502-1509, 1969.
  - 30) Hanson, J. S., et al. Long term physical training and cardiovascular dynamics in middle-aged man. *Circulation.* 38: 783-799, 1968.
  - 31) Hartley, L. H., et al. Physical training in sedentary middle-aged and olden man. III. Cardiac output and gas exchange at submaximal and maximal exercise. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 24: 335-344, 1969.
  - 32) Henry, F. M., and W. F. Berg. Physiological

- and performance changes in athletic conditioning. *J. Appl. physiol.* 3: 103-111, 1950.
- 33) Hermansen, L., and K. L. Anderson. Aerobic work capacity in young Norwegian men and women. *J. Appl. Physiol.* 20: 425-431, 1965.
  - 34) Hermansen, L. and N. Wachtlova. Capillary density of skeletal muscle of well trained and untrained men. *J. Appl. Physiol.* 30: 860-869, 1971.
  - 35) Hunter, J. B., and J. B. Critz. Effect of training on plasma enzyme levels in man. *J. Appl. Physiol.* 31: 20-23, 1971.
  - 36) Ikai, M., et al. Aerobic capacity of Ainu and other Japanese on Hokkaido. *Med. Sci. Sports.* 3: 6-11, 1971.
  - 37) Ikai, M., et al. The effects of Variations in the Intensity of Exercise on the General Endurance in 13 years Females. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1: 24-34, 1973 (in Japanese).
  - 38) Ikai, M., et al. A Study of Training Effect on Cardiovascular Function by the Workout Intensity Equivalent to 70% of Maximum oxygen Intake. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1: 67-72, 1973 (in Japanese).
  - 39) Ishii, K. and A. Horii, Study of Training Effect on Aerobic Work Capacity 60 % and 80 %  $\dot{V}O_2$  max.. By Indirect Method. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 2: 123-131, 1974 (in Japanese).
  - 40) Ishii, K., and M. Irikawa. A study on the period of aerobic training on middle-aged males. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 5: 23-29, 1977 (in Japanese).
  - 41) Ishiko, T., et al. Optimum Work Intensity to Develop Work Capacity in Young Male Workers. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1: 73-80, 1973 (in Japanese).
  - 42) Ishiko, T., et al. Effect of Training by Bicycling at the Work Loads of 35 %, 50 %, 65 % and 80 % of Maximal Oxygen Intake on Work Capacity in College women. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 2: 207-217, 1974 (in Japanese).
  - 43) Ishiko, T., et al. Effect of High Intensity - Short Duration and Low Intensity - Long Duration Training Programs on Endurance Fitness. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 4: 13-19, 1976 (in Japanese).
  - 44) Ito, A., et al. A biochemical study on the optimal standards of exercise for endurance training to the whole body. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1: 41-57, 1973 (in Japanese).
  - 45) Itoh, M., et al. Effect of Physical Training on General Endurance of Middle and Old Age. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1: 134-143, 1973 (in Japanese).
  - 46) Jackson, J. H., et al. Cardiorespiratory adaptations to training as specified frequencies. *Res. Quat.* 39: 295-300, 1968.
  - 47) Kagawa, A. Training Effect on Aerobic Work Capacity in Sedentary Female Subjects — 60 %  $\dot{V}O_2$  max, Training — *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1: 98-107, 1973 (in Japanese).
  - 48) Kagawa, A. Training Effect on Aerobic Work Capacity in Sedentary Female Subjects — 90 %  $\dot{V}O_2$  max, Training — *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 2: 225-232, 1974 (in Japanese).
  - 49) Kagawa, A. Training effects of 30 minute running on aerobic work capacity in female students. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 5: 50-58, 1977 (in Japanese).
  - 50) Kagawa, H. Effect of a standardized training program (1) — 80 %  $\dot{V}O_2$  max — . *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1: 58-66, 1973.
  - 51) Kagawa, H. Effect of a Standardized Training Program (2) — 90 %  $\dot{V}O_2$  max — . *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 2: 153-160, 1974 (in Japanese).
  - 52) Karlsson, J., et al. Muscle Lactate, ATP, and CP levels during exercise after physical training in man. *J. Appl. Physiol.* 33: 199-203, 1972.
  - 53) Kato, K., et al. Effects of Training Frequency on Aerobic Work Capacity in Adult Men. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1: 116-124, 1973 (in Japanese).
  - 54) Kilbom, A., et al. Physical training in sedentary middle-aged and older men. 1.



- Medical evaluation. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 24 : 315-322, 1969.
- 55) Kildom, A. Physical training with submaximal intensities in women. I. Reaction to exercise and orthostasis. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 28 : 141-161, 1971.
- 56) Kildom, A., and I. Åstrand. Physical training with submaximal intensities in women. I. Effect on cardiac output. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 28 : 163-175, 1971.
- 57) Kildom, A. Effect on women of physical training with low intensities. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 28 : 345-352, 1971.
- 58) Knehr, C. A., et al. Training and its effects on man at rest and at work. Amer. J. Physiol. 136 : 148-156, 1942.
- 59) Knuttgen, H. G. Aerobic capacity of adolescents. J. Appl. Physiol. 22 : 825-858, 1967.
- 60) Lesmes, G. R., et al. Metabolic responses of females to high interval training of different frequencies. Med. Sci. Sports. 10 : 229-232, 1978.
- 61) Lupton, H. An analysis of the effects of speed on the mechanical efficiency of human muscular movement. J. Physiol. 37 : 337-353, 1923.
- 62) Macnab, R. B., et al. Differences in maximal and submaximal work capacity in man and women. J. Appl. Physiol. 27 : 644-648, 1969.
- 63) Magel, J. R., and J. A. Faulkner. Maximum oxygen uptakes of college swimmers. J. Appl. Physiol. 22 : 928-938, 1967.
- 64) Mathews, D. K., and E. L. Fox. The physiological basis of physical education and athletes. p. 35 Table 3-4, W. B. Saunders company, 1971.
- 65) Matsui, H., et al. Maximum oxygen intake and its relationship to body weight of Japanese adolescents. Med. Sci. Sports. 4 : 29-32, 1972.
- 66) Matsui, H. Effects of treadmill walking having intensity of 70 % of the maximum oxygen intake on cardiovascular function in middle-aged men. Rep. Res. Cent. Ed. 2 : 197-206, 1974 (in Japanese).
- 67) McArdle, W. D., et al. Specificity of run training on  $\dot{V}O_2$  max and heart rate changes during running and swimming. Med. Sci. Sports. 10 : 16-20, 1978.
- 68) Michael, E. D. and S. M. Horvath. Physical work capacity of college women. J. Appl. Physiol. 20 : 263-266, 1965.
- 69) Miyashita, M. and Haga S. Improvement in aerobic work capacity of adult men. Rep. Res. Cent. Phys. Ed. 2 : 161-166, 1974 (in Japanese).
- 70) Miyashita, M. and S. Haga. Improvement in aerobic work capacity of middle aged and older men. Rep. Res. Cent. Phys. Ed. 2 : 174-178, 1974, (in Japanese).
- 71) Miyashita, M. and Y. Atomi. Effects of intensity and frequency of training on aerobic work capacity. Rep. Res. Cent. Phys. Ed. 3 : 76-84, 1975 (in Japanese).
- 72) Miyashita, M., et al. Changes in aerobic work capacity and respiration-circulatory responses in middle-aged and older men observed 6 months after the end of physical training. Rep. Res. Cent. Phys. Ed. 4 : 52-59, 1976 (in Japanese).
- 73) Miyashita, M., et al. Rating of perceived exertion during 60 min-bicycling and effect of training on perceived exertion. Rep. Res. Cent. Phys. Ed. 5 : 83-88, 1977 (in Japanese).
- 74) Moody, D. L., et al. The effects of a jogging program on the body composition of normal obese high school girls. Med. Sci. Sports. 4 : 210-213, 1972.
- 75) Naughton, J., and F. Nagle. Peak oxygen intake during physical fitness program for middle-aged men. J. A. M. A. 191 : 899-901, 1965.
- 76) Ogawa, S. and Y. Furuta. Effect of three week period of endurance training in middle aged women. Rep. Res. Cent. Phys. Ed. 2 : 218-224, 1974 (in Japanese).
- 77) Ogawa, S., et al. Effects of running training

- on aerobic work capacity of middle-aged men. Rep. Res. Cent. Phys. Ed. 4: 6-12, 1976 (in Japanese).
- 78) Ogawa, S., et al. Effects of running training on aerobic work capacity of middle-aged men. ReS. Res. Cent. Phys. Ed. 5: 59-70, 1977 (in Japanese).
  - 79) Pollock, M. L., et al. Effects of frequency of training on working capacity, cardiovascular function, and body composition of adult men. Med. Sci. Sports. 2: 70-74, 1969.
  - 80) Pollock, M. L. et al. Effects of training two days per week at different intensities on middle-aged men. Med. Sci. Sports. 4: 192-197, 1972.
  - 81) Reuschlein, P. S., et al. Effect of physical training and the pulmonary diffusing capacity during submaximal work. J. Appl. Physiol. 24: 152-158, 1968.
  - 82) Ridge, B. R., et al. Responses to Kayak Ergometer performance after kayak and bicycle ergometer training. Med. Sci. Sports. 8: 18-22, 1976.
  - 83) Robinson, S. and P. H. Harmon. The lactic acid mechanism and certain properties of the blood in relation to training. Amer. J. Physiol. 132: 759-769, 1941.
  - 84) Robinson, S. and P. M. Harmon. The effects of training and of gelatin upon certain factors which limit muscular work. Amer. J. Physiol. 133: 161-169, 1941.
  - 85) Roskamm, H. Optimum patterns of exercise for healthy adults. Canad. Med. Ass. J. 96: 895-899, 1967.
  - 86) Rother, F. D., et al. Exercise blood flow changes in the human forearm during physical training. J. Appl. Physiol. 18: 789-793, 1963.
  - 87) Saltin, B. and P.-O. Åstrand. Maximal oxygen uptake in athletes. J. Appl. Physiol. 23: 353-358, 1967.
  - 88) Saltin, B., et al. Physical training in sedentary middle-aged and older men. II. Oxygen uptake, heart rate, and blood lactate concentration at submaximal and maximal exercise. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 24: 323-334, 1969.
  - 89) Sharkey, B. J. Intensity and duration of training and the development of cardio-respiratory endurance. Med. Sci. Sports. 2: 197-202, 1970.
  - 90) Shinbo, M. and H. Tanaka. Training by bicycle exercise (15 minutes exercise at 90 % of maximal aerobic power once every other day). Rep. Res. Cent. Phys. Ed. 3: 14-23, 1973.
  - 91) Shinbo, M. and H. Tanaka. Training effects of 50 %  $\dot{V}O_2$  max, 60 min bicycle ergometer exercise on healthy adult women. Rep. Res. Cent. Phys. Ed. 3: 58-67, 1975.
  - 92) Shinbo, M., et al. Effects of training 50 %  $\dot{V}O_2$  max for 60 min in healthy college men. Rep. Res. Phys. Ed. 5: 39-49, 1977.
  - 93) Shire, T. L., et al. Effect of high resistance and low resistance bicycle ergometer training in college women on cardiorespiratory function and body composition. Res. Quart. 48: 391-400, 1977.
  - 94) Sidney, K. H. and R. J. Shephard. Frequency and intensity of exercise training for elderly subjects. Med. Sci. Sports. 10: 125-131, 1978.
  - 95) Siegel, W., et al. Effects of quantitated physical training program on middle-aged sedentary men. Circulation. 41: 19-29, 1970.
  - 96) Sloan, A. W. Effect of training on physical fitness of women students. J. Appl. Physiol. 16: 167-169, 1961.
  - 97) Tabakin, B. S., et al. Effects of physical training on the cardiovascular and respiratory response to graded upright exercise in distance runners. Brit. Heart J. 27: 205, 1965.
  - 98) Wasserman, K., et al. Interaction of physiological mechanisms during exercise. J. Appl. Physiol. 22: 71-85, 1967.
  - 99) Whipp, B. J., et al. Oxygen deficit-oxygen debt relationships and efficiency of anaerobic work. J. Appl. Physiol. 28: 452-456, 1970.
  - 100) Whipp, B. J. and K. Wasserman. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. J. Appl. Physiol. 33:

- 351-1972.
- 101) Williams, C. G., et al. Effect of training on maximum oxygen intake and on anaerobic metabolism in man. *Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.* 24 : 18-23, 1967.
  - 102) Wilmore, J. H., et al. Physiological alterations resulting from a 10-week program of jogging. *Med. Sci. Sports.* 2 : 7-14, 1970.
  - 103) Yamakawa, J. and F. Miyashita. Training of the general endurance of the adult female by the three different training methods. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 2 : 259-265, 1974.
  - 104) Yamamoto, H. Effects of training on the mechanical efficiency in bicycle ergometer exercise. Master's Thesis, University of Tokyo, 1975.
  - 105) Yamaoka, S., et al. Effects of five minutes training on female students. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1 : 91-97, 1973 (in Japanese).
  - 106) Yamaoka, S., et al. Effect of five minutes training on female students. Report 2. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 2 : 190-196, 1974 (in Japanese).
  - 107) Yamaoka, S., et al. Effect of physical training on aerobic work capacity by intensity of 50-60 % of  $\dot{V}O_2$  max in female students. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 4 : 20-30, 1976 (in Japanese).
  - 108) Yoshizawa, S. The studies on the effect of training on aerobic work capacities in adolescents. *Rep. Res. Cent. Phys. Ed.* 1 : 14-23, 1973(in Japanese).
  - 109) Yoshizawa, S. Training effect of the work intensity equivalent to 65-70 % of maximal oxygen uptake in boys. *Sep. Res. Cent. Phys. Ed.* 2 : 266-269, 1974 (in Japanese).